

# **ВЛИЯНИЕ ЛЕГИРОВАНИЯ ВОДОРОДОМ НА СТРУКТУРУ И МИКРОДЮРОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СОСТАРЕННОГО СПЛАВА НА ОСНОВЕ ОРТОРОМБИЧЕСКОГО АЛЮМИНИДА ТИТАНА**

*Хаджиева О.Г., Илларионов А.Г.*

ФГАОУ ВПО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»  
г. Екатеринбург, Россия  
illarionovag@mail.ru

Сплавы на основе интерметаллидов титана широко применяются в авиационной и космической отраслях промышленности ввиду их легкости и жаропрочности, однако пониженная пластичность этих сплавов затрудняет получение из них деформированных полуфабрикатов. В сплавах на основе интерметаллида  $Ti_2AlNb$  (О- фазы) и  $Ti_3Al$  были обнаружены обусловленные водородом эффекты, которые оказались полезными при совершенствовании технологии производства полуфабрикатов и изделий из этих сплавов. Однако малоизученным остается влияние водорода на распад метастабильных фаз при старении интерметаллидных сплавов. Целью настоящей работы являлось исследование влияния легирования водородом на процессы распада метастабильных фаз в сплаве на основе интерметаллида  $Ti_2AlNb$  (О-фазы) при различных режимах старения. В качестве образцов были взяты цилиндрические образцы диаметром 20 мм, выточенные из слитка сплава  $Ti-24,3Al-24,8 Nb-1,0 Zr-1,4 V-0,6 Mo-0,3 Si$  (ат.%) без водорода, а также легированного водородом в количестве 5,2 и 8,5 ат. %. Термическая обработка включала в себя закалку от 900 °С и последующее старение при 600 и 700 °С в течение 1, 2 и 4 часов. Температура закалки была выбрана таким образом, чтобы не допустить роста зерна и обеспечить достаточно большую объемную долю  $\beta$ - фазы в структуре сплава, способную распадаться при старении. Температуры старения были выбраны с учетом данных термического анализа и планируемых температур эксплуатации сплава.

Закаленный сплав без водорода находится в трехфазном ( $O + \beta + \alpha_2$ )-состоянии. Структура сплава представлена пластинчатыми выделениями  $\alpha_2$ - и О- фаз различной дисперсности, распределенными по всему объему  $\beta$ - твердого раствора. На электронограммах вокруг рефлексов  $\beta$ - фазы присутствует множество рефлексов О- фазы, свидетельствующих о наличии нескольких ориентировок ее пластин. Микротвердость закаленного сплава составила 4250 МПа. При закалке обоих сплавов с водородом фиксируется двухфазное ( $O+\beta$ )- состояние, но объемная доля  $\beta$ - фазы в сплавах разная: в сплаве с 5,2 ат. % водорода она равна порядка 70 %, в сплаве с 8,5 ат.% водорода около 80 %, микротвердость сплавов составляет 4300 и 4250 МПа соответственно. Структура обоих сплавов

представлена пластинами О- фазы различного размера и ориентировки, равномерно распределенными в  $\beta$ - матрице.

При старении закаленного сплава без водорода при температуре 600 °С не наблюдается интенсивного распада  $\beta$ - твердого раствора. В течение 1 и 2 часов сплав сохраняет трехфазное состояние, зафиксированное при закалке, структура также остается преимущественно подобной закаленному состоянию: зафиксировано выделение некоторого количества тонких вторичных пластин О- фазы в промежутках между более крупными первичными пластинами О- и  $\alpha_2$ - фаз, наблюдаются участки  $\beta$ - фазы, не претерпевшей распад. Микротвердость сплава по сравнению с закаленным состоянием практически не изменяется. Увеличение времени старения до 4 часов способствует переходу сплава в двухфазное (О +  $\beta$ )- состояние. В структуре наблюдаются вторичные пластины О- фазы, характеризующиеся упорядоченным расположением друг относительно друга и образующие зигзагообразные ансамбли («фермообразные» группы). Образование таких ансамблей обеспечивает уменьшение полей напряжений в исходной фазе, в результате чего образующиеся пластины О- фазы взаимодействуют с  $\beta$ - матрицей, изменяя ее состояние, и рост соседних пластин О-фазы оказывается взаимосвязанным, таким образом формирование структуры в некотором объеме происходит самосогласованным образом.

Старение сплавов с 5,2 ат. % и 8,5 ат. % водорода при 600 °С при малых временах выдержки идет вяло, о чем свидетельствует неизменный фазовый состав сплава и практически постоянное значение микротвердости, однако после двухчасового старения микротвердость сплава с 8,5 ат. % водорода выше, чем у сплава с 5,2 ат. % водорода после такой же обработки. Это связано с тем, что в сплаве с большим содержанием водорода при закалке фиксируется большая объемная доля  $\beta$ - фазы, обеспечивающая при распаде большее упрочнение сплава. Сравнение рассчитанных значений энтальпии  $\beta \rightarrow \text{О}$ - превращения (23,96 Дж/г в сплаве с 5,2 ат. % водорода и 30,81 Дж/г в сплаве с 8,5 ат. % водорода) подтверждает увеличение интенсивности распада. В результате  $\beta \rightarrow \text{О}$ - превращения начинается формирование «фермообразных» групп пластин О- фазы в виде пакета параллельных одинаковых пластин, ребра которых лежат в одной плоскости. При выдержках 2 и 4 часа  $\beta \rightarrow \text{О}$ -превращение активизируется, распад проходит более полно вплоть до полного исчезновения  $\beta$ - фазы в структуре сплава с 5,2 ат. % водорода и его перехода в однофазное состояние при выдержке 4 часа, сплав с 8,5 ат. % водорода сохраняет двухфазную (О +  $\beta$ )- структуру. В итоге после старения в течение 4 часов при 600 °С сплав с 5,2 ат. % водорода имеет микротвердость 5000 МПа, а сплав с 8,5 ат. % водорода 5400 МПа, эти значения являются максимальными полученными для данных сплавов при всех исследованных режимах обработки. Увеличение температуры старения до 700 °С приводит к интенсификации  $\beta \rightarrow \text{О}$ - превращения в сплавах с водородом, что закономерно отражается на микротвердости:

разница значений микротвердости, которые имеют сплавы после старения при обеих температурах в течение 1 часа, составляет около 200 МПа.

Обнаружено, что кроме повышения микротвердости увеличение температуры старения для сплава с 5,2 ат. % водорода способствует смене типа организации пластин внутри «фермообразных» групп с пакетного на зигзагообразный. Увеличение линейных размеров пластин О- фазы, составляющих «фермообразные» группы, во время длительной выдержки (4 часа) приводит к небольшому снижению микротвердости. В сплаве с 8,5 ат. % водорода, в отличие от сплава с 5,2 ат. % водорода, смены типа организации пластин внутри «фермообразной» группы не происходит: она остается пакетной. В результате после старения при 700 °С более высокие показатели микротвердости имеет сплав с 8,5 ат. % водорода, в структуре которого пластины О- фазы организованы в пакет, а не сплав с 5,2 ат. % водорода, имеющий зигзагообразные «фермы».

Таким образом, увеличение содержания водорода в исследуемом сплаве приводит к активизации распада  $\beta$ - твердого раствора при старении и изменяет морфологию выделяющихся пластин О- фазы, способствуя формированию структуры пакетного типа, что обеспечивает получение более высоких значений микротвердости.

*Работа выполнена в рамках госконтракта №02.740.11.0160 по ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России».*